

=> file wpindex

COPYRIGHT (C) 2000 DERWENT INFORMATION LTD
FILE LAST UPDATED: 11 AUG 2000 <20000811/UP>

=> s de19527446/pn
L1 1 DE19527446/PN

=> d .kurz

L1 ANSWER 1 OF 1 WPINDEX COPYRIGHT 2000 DERWENT INFORMATION LTD
AN 1996-486564 [49] WPINDEX
TI Method for optical surface inspection of workpieces - by generating half-tone matrix, expressed in pixels, of surface cleansed of differences in background light intensity for comparison with reference matrix involving use of computer.
AB DE 19527446 A UPAB: 19961205
Based on the light intensity function ($G(x)$) of the half tone lines of the reference surface (G) and its inverse function ($H(x)$), from these functions half tone matrixes are generated, expressed in pixels, which are combined according to the expression $G_m,n \cdot H_m,n = K$, with m, n the indices of the matrix elements and K a freely selectable constant. For the workpiece a matrix S_m,n is generated ($S_m,n = I_m,n \cdot H_m,n$ and I and H referring to the workpiece) cleansed of the original local differences in light intensity from which is deducted the constant K to derive a function ($B(x)$).

The surface structure half-tone matrix ($B_m,n = (I_m,n - G_m,n) \cdot H_m,n$) is then generated with improved contrast and regardless of the original local background light intensity. This matrix is then evaluated according to the sample recognition algorithm appropriate to the test function.

ADVANTAGE - Regardless of the local lighting conditions a uniform assessment of selected surface areas of a workpiece is achieved.

Dwg. 2/6

PA (DEUT-N) DEUTSCH PRUEF & MESSGERAETEBAU KARL

This Page Blank (uspto)

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

Offenlegungsschrift

(10) DE 195 27 446 A 1

(51) Int. Cl. 6:

G 01 N 21/88

G 01 N 27/82

G 01 B 11/30

B 07 C 5/342

G 06 K 9/62

(30) Innere Priorität: (32) (33) (31)

28.04.95 DE 195156188

(71) Anmelder:

Karl Deutsch Prüf- und Meßgerätebau GmbH + Co
KG, 42115 Wuppertal, DE

(74) Vertreter:

Künneth, H., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 30173 Hannover

(72) Erfinder:

Wahl, Gerd, Dipl.-Ing., 42699 Solingen, DE

(54) Verfahren und Vorrichtung zur optischen Oberflächenprüfung von Werkstücken

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur optischen Oberflächenprüfung von Werkstücken auf Oberflächenstrukturen, insbesondere auf Risse, nach dem Magnetpulver- oder Farbeindringverfahren, bei dem mittels einer Bildaufnahmekamera ein Bild der zu prüfenden Oberfläche aufgenommen, digitalisiert und als Grauwertmatrix in einem Rechner gespeichert wird und mit einer in gleicher Weise erhaltenen, ebenfalls gespeicherten Grauwertmatrix des Bildes einer bezüglich der geometrischen Sollwerte identischen, jedoch fehlerfreien Oberfläche rechnerisch verknüpft wird.

Um eine weitgehend gleichmäßige Beurteilung rißähnlicher Strukturen in allen Oberflächenbereichen des Prüflings zu ermöglichen, unabhängig von deren lokalem Beleuchtungszustand oder Reflexionsverhalten, wird mittels des Rechners aus der Grauwertmatrix der fehlerfreien Oberfläche eine dazu inverse Hilfsmatrix gebildet, die mit der Ausgangsmatrix pixelweise multiplikativ verknüpft ist unter Vorgabe einer auf Matrix- oder Pixelebene frei wählbaren Konstanten als Ergebnis der multiplikativen Verknüpfung. Auch die Grauwertmatrix der zu bewertenden Oberfläche wird mit dieser Hilfsmatrix pixelweise multiplikativ verknüpft. Von der so gebildeten Matrix wird der Wert der Konstanten pixelweise subtrahiert, unter Bildung der kontrastverbesserten, die zu ermittelnden Oberflächenstrukturen unabhängig von der ursprünglichen lokalen Helligkeits-Grundintensität wiedergebenden Grauwertmatrix, die durch Anwendung von ...

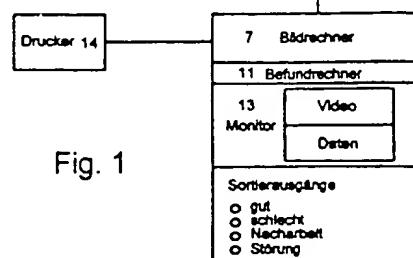
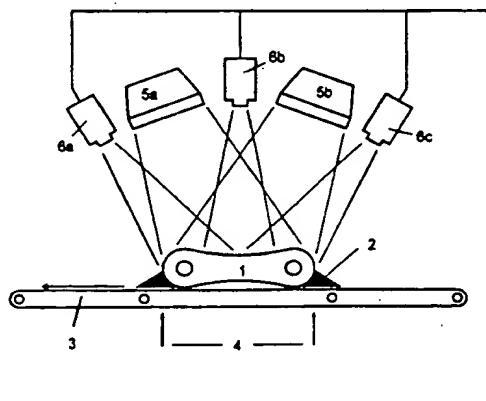


Fig. 1

DE 195 27 446 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

DRUCKERDRUCKSEITEN 00 00 0000000000

10/100

DE 195 27 446 A 1

1 Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur optischen Oberflächenprüfung von Werkstücken gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. 6.

Hauptanwendungsgebiet der Erfindung ist die automatische Prüfung von Werkstücken auf Oberflächenrisse nach dem Magnetpulver- oder Farbeindringverfahren. Jedoch ist die Erfindung auch auf jede andere Art der optischen Kontrolle von Oberflächen anwendbar, etwa bei der Erkennung von Rissen in keramischen Teilen, darüberhinaus bei der Konturenerkennung, bei Vollständigkeitsprüfungen und der Überprüfung auf geometrische Abweichungen von feststehenden Sollwerten.

Besondere Bedeutung kommt im Rahmen der optischen Oberflächenprüfung der Prüfung auf Oberflächenrisse zu. Diese stellen für dauerbeanspruchte Werkstücke wegen der Gefahr, unter Belastung zum Bruch zu führen, besonders gefährliche Fehler dar. Daher werden z. B. Sicherheitsteile in der Automobil-Industrie vor ihrem Einbau zerstörungsfrei geprüft, vorzugsweise mit den bekannten Magnetpulver- oder Farbeindringverfahren. Mit diesen wird auf die zu prüfende Oberfläche ein Mittel aufgebracht, welches eine optische Rißanzeige durch eine kontrastreiche, gegenüber der Rißbreite verbreiterte Rißkonturenabzeichnung auf der Prüflingsoberfläche bewirkt, so daß auch die für das menschliche Auge zunächst nicht erkennbaren Risse durch einen ausgebildeten Prüfer visuell erkannt und ausgewertet werden können.

Diese visuelle Prüfung durch den Menschen ist im Prinzip empfindlicher als jede automatische Bildverarbeitung. Das ergibt sich schon aus der höheren Detaillauflösung des menschlichen Auges. Auch ist der Mensch bei der Betrachtung und beim Hantieren mit Teilen erheblich flexibler als eine Bildauswertungsvorrichtung. So wird der Prüfer, wenn er eine zweifelhafte (meist unscheinbare) Anzeige entdeckt, durch Hin- und Herwenden des Werkstücks versuchen, diese Anzeige genauer zu interpretieren.

Diesen Vorteilen der visuellen Prüfung stehen allerdings schwerwiegende Nachteile entgegen. Die insbesondere bei Massenteilen monotone Arbeit der visuellen Prüfung wirkt sich nachteilig auf die Konzentrationsfähigkeit des Prüfpersonals aus. Die Prüfsicherheit bei visueller Prüfung ist daher eine schwer vorhersagbare Größe und hängt immer vom individuellen Geschick des jeweiligen Prüfers ab, wie Versuchsreihen deutlich belegen (vergl. "Über die Zuverlässigkeit von Ergebnissen der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung", V. Deutsch, DVS Berichte 142 (1991) S. 18–23). Hinzu kommt noch, daß heute in den meisten Fällen große Stückzahlen produziert und geprüft werden. Bedingt durch die hohe Fertigungsqualität treten dabei nur sehr selten fehlerhafte Werkstücke auf. Demzufolge geht der Prüfer gefühlsmäßig davon aus, daß er in seiner Schicht ohnehin kein fehlerhaftes Werkstück findet und betrachtet die Teile sozusagen nur noch "Pro Forma". Dabei können auch größere Fehler übersehen werden, da nach einer gewissen Zeit eine Ermüdung des Prüfers eintritt. Dazu kommt die Gefahr einer Unachtsamkeit des Prüfers als Folge von akustischen und visuellen Ablenkungen.

Zur Vermeidung der Risiken und Nachteile der visuellen Prüfung durch den Menschen wird seit langem angestrebt, die Auswertung der optischen Rißanzeige

auf Werkstücken zu automatisieren. Zu diesem Zweck ist man dazu übergegangen, das zu prüfende Werkstück mit einer Kamera oder mit mehreren Kamera's zu betrachten, die Bestandteil eines automatischen Bildverarbeitungssystems sind. Ein solches System ist z. B. im oberen Teil der Fig. 1 gezeigt und in der nachfolgenden Figurenbeschreibung im Zusammenhang mit weiteren in den Figuren gezeigten Einrichtungen einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung erläutert.

- 10 Eine industriell einsetzbare Vorrichtung zur automatischen Erkennung und Bewertung von optischen Rißanzeichen auf der Oberfläche von Werkstücken ist erstmals in der Anmeldung zur DE-PS 26 35 042.5-09 geoffenbart worden. Mit dieser Vorrichtung wird die Oberfläche des zu prüfenden Werkstücks zeilenweise mit einer elektro-optischen Einrichtung abgetastet, wobei gemäß der Erfindung eine Steuereinrichtung die erfaßte Breite jeder einzelnen Abtastzeile gleich dem N-ten Teil (N = eine natürliche ganze Zahl) der größten auszuwertenden Rißbreite einstellt. Die so erhaltenen Bildsignale von N aufeinander folgenden Abtastzeilen einerseits werden mit den Bildsignalen von N vorangehenden und N nachfolgenden aufeinander folgenden Abtastzeilen andererseits in einer Vergleicherschaltung verglichen. Wenn die Differenz zwischen den Bildsignalen der N Abtastzeilen einerseits und den Bildsignalen der N vorangehenden und der N nachfolgenden Abtastzeilen andererseits von einem vorgegebenen Schwellwert abweicht, wird eine Einrichtung zur Erzeugung eines Fehlersignals betätigt. Die Fehlersignale können dazu benutzt werden, das geprüfte Teil auszusondern oder einer Nacharbeit zuzuführen.

35 Dieses bekannte Verfahren bietet eine recht kostengünstige Lösung, um auf automatischem Wege linienförmige Anzeigen von flächenförmigen Anzeigen zu unterscheiden. Jedoch bietet es nicht die Möglichkeit, linienförmige Anzeigen daraufhin voneinander zu unterscheiden, ob sie von Rissen oder von linienförmigen Scheinanzeigen herrühren, wie sie durch Werkstückkanten, Gewinde, Verzahnungen und Nuten hervorgerufen werden. Überdies ist die Möglichkeit einer Anzeigebewertung mit der bekannten Vorrichtung von dem Kontrast des aufgenommenen Bildes abhängig, der mittels des bekannten Verfahrens nicht nachträglich erhöht werden kann.

45 Um hier Abhilfe zu schaffen, sind das Verfahren und die Vorrichtung gemäß der DE-PS 34 40 473 geschaffen worden. Hiermit werden die Grauwerte eines durch Abtasten der zu prüfenden Oberfläche und gegebenenfalls einer mit der zu prüfenden Oberfläche identischen, rißfreien Oberfläche, erhaltenen Kamera-Bildes digitalisiert. Durch Ablage der so erhaltenen Digitalwerte in einem Halbleiterspeicher wird eine Bildpunkt-Matrix erzeugt. Diese wird mittels eines Rechners in der Weise weiterverarbeitet, daß

- a) in einem ersten Verarbeitungsschritt mittels des Analog-Digital-Wandlers durch logische Verknüpfung aller Bits jedes Grauwertes ein Binärbild erzeugt wird, das nur noch Bildinformationen enthält, die durch eine Voll-Aussteuerung des Analog-Digital-Wandlers zustande gekommen sind, was einer Reduzierung der Rauschamplituden beim Binärbild gleichkommt, so daß dieses nur noch im wesentlichen auf Rissen, Flecken von Prüfmittel oder Kan ten beruhende Anzeigen enthält,
- b) von diesem Binärbild in einem zweiten Verarbeitungsschritt alle Anzeigen linien- und punktförmig

ger Strukturen, deren Ausdehnung eine vorgebbare Bildpunktanzahl nicht überschreitet, eliminiert werden,

c) die danach verbliebenen Anzeigen flächiger Strukturen in einem dritten Verarbeitungsschritt in allen Zeilen und Spalten der Matrix auf mindestens ihre ursprüngliche Ausdehnung verbreitert werden,

d) wonach in weiteren Verarbeitungsschritten alle flächigen Strukturen und alle Geometrieanzeigen mittels der Maskentechnik ausgeblendet werden und das danach verbliebene Binärbild der zu prüfenden Oberfläche zeilen- bzw. spaltenweise abgetastet wird unter Zählung der detektierten Anzeigen-Bildpunkte. Wenn dabei beim Abtasten einer Serie von unmittelbar benachbarten Bildpunkten eine vorgebbare Mindestanzahl von Anzeigen gezählt worden ist, wird ein Sortierbefund ausgelöst.

Die Maskentechnik beruht darauf, daß das Grauwertbild eines fehlerfreien Werkstücks gleicher Kontur und identischer Oberfläche wie das zu prüfende Werkstück, das auch genau so vorbehandelt worden ist wie dieses, von dem Grauwertbild des zu prüfenden, möglicherweise rißbehafteten Werkstücks abgezogen wird. Auf diese Weise werden Geometrieanzeigen eliminiert und unterschiedliche Helligkeiten innerhalb des Bildes kompensiert. Auch Hintergrundfluoreszenzerscheinungen werden zu Null reduziert, da die Hintergrundeffekte sowohl bei dem rißbehafteten als auch bei dem rißfreien Werkstück völlig identisch sind. In der so gebildeten Matrix bleibt lediglich die Intensitätssstruktur des Risses übrig, die dann einem Mustererkennungsalgorithmus unterzogen werden kann.

Bei der optischen Bewertung von Oberflächen ist die automatische Erkennung von Rissen oder sonstigen Strukturen dadurch erheblich erschwert, daß unterschiedliche Bereiche des Werkstücks unterschiedlich stark ausgeleuchtet sind, oder verschiedene Oberflächenbereiche unterschiedliches Reflexionsverhalten haben, was zur Folge haben kann, daß von Natur aus gleiche rißartige Strukturen an unterschiedlichen Teilen der Oberflächen mit unterschiedlicher Intensität erscheinen und unterschiedliche Rißstrukturen nicht mit entsprechendem Intensitätsunterschied abgebildet werden. Grundsätzlich wird jedoch die lokale Intensität des von einem Riß abgestrahlten Fluoreszenzlichtes in einem mehr oder weniger festen Verhältnis zur lokalen Untergrundfluoreszenz stehen bzw. proportional zur lokalen Lichtintensität des von der Rißumgebung abgestrahlten Lichtes sein. Somit wird bei einem schlecht ausgeleuchteten Teil des Werkstücks ein Riß mit einer entsprechend proportional verminderten Intensität erscheinen als derselbe Riß, wenn der umgebende Bereich gut ausgeleuchtet ist. Eine gleichmäßige Beurteilung von Rissen unabhängig von deren Ausleuchtung ist daher mit den bekannten Vorrichtungen bzw. Verfahren zur Rißerkennung nicht möglich.

Das gilt auch für das Verfahren und die Vorrichtung gemäß der EP-PS 0309758, das zwar Verbesserungen, aber keine grundsätzliche Abhilfe bringen kann. In der EP-PS 0309758 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Feststellen und Auswerten von Oberflächenrissen bei Werkstücken beschrieben, bei denen eine Farbkamera verwendet wird, um aus den Bildwerten in digitalisierte Grauwertstufen zerlegte Grauwertbilder zu erzeugen. Diese werden zur Kontrasterhöhung einer Hochpaßfilterung unterzogen bzw. von einer Tiefpaß-

version des Grauwertbildes subtrahiert. Das so erhaltene Bild wird zur Behebung der oben genannten Schwierigkeiten mit einer dynamischen Grauwertschwelle binarisiert, wobei zur Bildung der Grauwertschwelle Mittelwerte der Grauwertverteilung und Standartabweichung des Rauschanteils herangezogen werden. Als weitere Maßnahme zur Verbesserung der Rißerkennbarkeit ist die Verwendung von optischen Filtern vor der Kamera-Linse beschrieben.

Der Erfindung hat die Aufgabe zugrunde gelegen, bei der automatischen optischen Oberflächenprüfung von Werkstücken auf Risse und ähnliche Oberflächenstrukturen eine weitgehend gleichmäßige Beurteilung derartiger Oberflächenstrukturen in beliebig vorgebbaren Oberflächenbereichen eines Prüflings zu ermöglichen, unabhängig von deren lokalem Ausleuchtungszustand oder Reflexionsverhalten.

Diese Aufgabe ist durch die Merkmale der Kennzeichen des Anspruchs 1 bzw. 6 lösbar. Weitere Merkmale der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Nachstehend wird ein Ausführungsbeispiel des Verfahrens gemäß der Erfindung und die dazu benutzte Vorrichtung anhand der Zeichnungen erläutert. Diese zeigen:

Fig. 1 das Aufbau-Prinzip eines automatischen Bildaufnahmee- und -verarbeitungssystems als Vorrichtung zur Ausübung des Verfahrens gemäß der Erfindung,

Fig. 2 graphische Darstellungen des Verfahrensablaufs bei Bildung einer Grauwertmatrix aus einer Video-Zeile,

Fig. 3a—3e graphische Darstellungen des Verfahrensablaufs bei herkömmlicher Verarbeitung einer Zeile eines Video-Bildes einer zu prüfenden Werkstückoberfläche,

Fig. 4a—4c graphische Darstellungen von erfundungsgemäßen Verfahrensschritten bei Verarbeitung einer Zeile eines Video-Bildes der zu prüfenden Oberfläche,

Fig. 5a und 5b den Verfahrensschritt der Bildung einer inversen Bildmatrix, und

Fig. 6a—6c das Prinzip der Maskentechnik veranschaulichende schematische Darstellungen.

Der obere Teil der Fig. 1 zeigt die Bildaufnahmeeinrichtung mit Werkstückzuführung, mittels welcher die im darunter gezeigten, nachgeschalteten Bildverarbeitungssystem ausgewerteten Oberflächenbilder erstellt werden. Die zu prüfenden Werkstücke 1 werden nach Magnetisierung und Vorbehandlung mit Prüfmittel in eine Werkstückhalterung 2 einer Transporteinrichtung 3 eingelegt und mittels dieser in die Prüfposition 4 gebracht.

Oberhalb dieser ist die Bildaufnahmeeinrichtung positioniert, die zwei UV-Lampen 5a, 5b und drei Bildaufnahme-Kameras 6a, 6b, 6c aufweist. Die UV-Lampen 5a, 5b sind so angeordnet, daß sie die zu prüfenden Bereiche des Werkstücks 1 beleuchten und die Kameras 6a, 6b, 6c befinden sich in einer für die Erfassung der zu prüfenden Werkstücksbereiche geeigneten Position.

Ein mittels der Videokameras 6a, 6b, 6c erfaßtes Bild der beleuchteten Oberflächenbereiche wird zunächst in an sich im Prinzip bekannter Weise in eine digitale Zeilen-Spaltenmatrix umgewandelt, die in einem Bildspeicher eines Bildrechners 7 des Bildverarbeitungssystems abgelegt wird für die Weiterverarbeitung gemäß der Erfindung. Fig. 2a bis 2c zeigen beispielsweise die Verfahrensschritte bei der Erstellung einer Ausgangsmatrix für das erfundungsgemäße Verfahren, wie sie im späteren Verlauf der Ausführungen als Matrix $I_{m,n}$ bezeichnet

net ist. Als erster Schritt wird hierbei das auszuwertende Kamerabild mittels einer Abtasteinheit des Bildverarbeitungssystems zeilenweise abgetastet. Ein so erhaltenes Intensitätssignal einer Videozeile ist in Fig. 2a beispielweise dargestellt. Die Videozeilen-Intensitätssignale werden nachfolgend über einen Analog-Digitalwandler pixelweise digitalisiert zu Grauwertzeilen, wie der in Fig. 2b beispielweise gezeigten Grauwertzeile, zu deren Erstellung eine, hier beispielweise angenommene, 8 bit Digitalisierung verwendet worden ist, die den in Fig. 2a dargestellten Intensitätsbereich von 0 bis 100% in 256 äquidistante Schritte zerlegt. Durch zeilenweise Aneinanderreihung dieser Bildpixel wird die in Fig. 2c gezeigte Grauwertzeilen-Spaltenmatrix erhalten, die in einem Bildspeicher des Bildrechners 7 des Bildverarbeitungssystems abgelegt wird, von dem aus sie in den Arbeitsspeicher des Bildrechners 7 transferierbar ist zwecks erfundungsgemäßer Weiterverarbeitung.

Zum besseren Verständnis der Erfindungsmaßnahmen wird nachstehend anhand der Fig. 3a-3e und 4a-4c erläutert, was physikalisch mit den Erfindungsmaßnahmen im Unterschied zu der herkömmlichen Technik bewirkt wird und worauf die Problemlösung beruht. Zu diesem Zweck ist in Fig. 3a ein Ausschnitt aus einer Werkstückoberfläche mit zwei Rissen 8 und 9 gezeigt, wobei die linke Hälfte 1L des Werkstücks als schlecht ausgeleuchtet angenommen wird, wogegen die rechte Hälfte 2R stark ausgeleuchtet sein soll. Die Linie 10 bedeutet eine Zeile einer Videokamera und das für diese Zeile erhaltene Intensitätssignal $I(x)$ ist in Fig. 3b gezeigt. An den Orten x_1 und x_2 , an denen die Risse 8 und 9 die Linie 10 im Bildbereich schneiden, treten entsprechende Erhöhungen der Intensität auf. Dabei ist die Intensitätserhöhung jeweils proportional zur lokalen Hintergrundintensität. Dementsprechend ist die Differenz zwischen der Maximalintensität und der lokalen Hintergrundintensität am Ort x_2 um ein Vielfaches höher als am Ort x_1 .

Fig. 3c zeigt einen Ausschnitt aus einer rißfreien Werkstückoberfläche, der im übrigen mit dem Ausschnitt gemäß Fig. 3a identisch ist bezüglich Geometrie und Ausleuchtung und der entlang der Linie 10 den in Fig. 3d dargestellten Intensitätsverlauf $G(x)$ hat. Zieht man die Werte I der Funktion $G(x)$ von den entsprechenden Werten I der Funktion $I(x)$ ab, so erhält man die Funktion $R(x)$ gemäß Fig. 3e, aus welcher die Werte für die Hintergrundintensität eliminiert sind. In diesem von der Hintergrundintensität befreiten Differenzbild $R(x)$ erscheinen die an sich gleichartigen Risse 8 und 9 mit unterschiedlichen Intensitätsmaxima, entsprechend der durch die unterschiedliche Hintergrundbeleuchtung verursachten unterschiedlichen Rißausleuchtung. Dies macht eine Binärisierung des Bildes durch eine Schwelle S_w in dem Sinne, daß alle oberhalb der Schwelle liegenden Werte als 1, alle unterhalb der Schwelle liegenden Werte als 0 weiterverarbeitet werden, unmöglich. Eine solche Binärisierung ist aber für die automatische Rißerkennung und -bewertung erforderlich. Sie setzt für eine richtige Rißerkennung und -bewertung voraus, daß die Intensitätsmaxima der Rißabbildungen unabhängig von der Hintergrundausleuchtung sind, weil sonst fehlerhafte Bereiche in schlecht ausgeleuchteten Werkstückbereichen fälschlicherweise als gut bewertet werden würden. Eine Binärisierung des Graubildes ist auch für die Anwendung von Mustererkennungsalgorithmen gemäß der DE-PS 26 35 042 oder 34 40 473 notwendig.

In den Fig. 4a bis 4c ist das grundsätzliche Prinzip

veranschaulicht, durch welches es mittels der Erfindung möglich ist, trotz unterschiedlicher Hintergrundausleuchtung von Rißbereichen von dieser unterschiedlichen Ausleuchtung unabhängige Binärbilder der Rißbereiche zu erhalten. Dieses Prinzip beruht auf der Anwendung einer zum ursprünglichen Intensitätsverlauf der Bildzeilen quasi inversen Intensitätsfunktion $H(x)$. Fig. 4a zeigt den ursprünglichen Intensitätsverlauf $G(x)$ des fehlerfreien Werkstücks gemäß Fig. 3c in der Bildzeile 10. Aus der Funktion $G(x)$ wird eine dazu quasi inverse Hilfsfunktion $H(x)$ in der Weise erhalten, daß eine Konstante K frei gewählt wird, und die Funktion $H(x)$ ermittelt wird, die durch multiplikative Verknüpfung mit $G(x)$ diese Konstante ergibt, so daß also $G(x) \cdot H(x) = K$. In Fig. 4a ist die Hilfsfunktion $H(x)$ gestrichelt eingezeichnet. Mit dieser so erhaltenen Hilfsfunktion $H(x)$ wird nunmehr die Intensitätsfunktion $I(x)$ des zu prüfenden Werkstücks multiplikativ verknüpft, wodurch sich die Funktion $S(x)$ gemäß Fig. 4b ergibt, bei der alle lokalen Intensitätsunterschiede auf ein- und dieselbe Grundintensität korrigiert sind und demzufolge die Intensitäten der Risse auf gleiche Ausleuchtungsintensität bezogen sind. Durch Abziehen des Intensitätswertes $K = G(x) \cdot H(x)$ ergibt sich die Funktion $B(x)$ gemäß Fig. 4c. Diese kann nun durch Setzen einer Schwelle binärisiert werden, wobei grundsätzlich gleiche rißartige Strukturen gleich bewertet werden, so daß eine von der Hintergrundhelligkeit unabhängige Rißbewertung mittels geeigneter Erkennungsalgorithmen möglich ist.

Die vorstehend beschriebenen Verfahrensschritte werden vorrichtungsmäßig mittels eines Bildrechners 7 umgesetzt, mit welchem sie als schnelle digitale Matrix-Rechenoperationen auf Pixelbene verwirklicht werden, ausgehend von einer aus dem Kamerabild des zu prüfenden Oberflächenbereichs gebildeten Grauwertmatrix $I_{m,n}$ und einer aus dem Kamerabild eines rißfreien, aber sonst identischen Oberflächenausschnitts gebildeten Matrix $G_{m,n}$ (Fig. 5). Diese beiden aus digitalen, diskreten Elementen mit den Indices m, n bestehenden Matrizen werden im Bildspeicher eines Rechners 7 abgelegt, aus dem sie zur Weiterverarbeitung in einen Arbeitsspeicher transferierbar sind.

Die Vorrichtung zur Ausübung des erfundungsgemäßen Verfahrens ist so ausgelegt, daß alle Risse mit einer Mindestlänge von 2 mm automatisch angezeigt werden. Folgt man der Definition, daß der Riß eine Werkstofftrennung darstellt, deren drei Dimensionen (Länge, Tiefe, Breite) sich mindestens wie 100 : 10 : 1 verhalten, so läßt sich ein Grenzfehler von 2 mm Länge, 200 µm Tiefe und 20 µm Breite beschreiben. Die auf der Oberfläche sichtbare Rißbreite wird durch den Streufluß und die Prüfmittelansammlung, die sog. Raupe, sowie durch den optischen Fluoreszenzeffekt verbreitert. Daher wird der Auswerte-Algorithmus vorzugsweise auf eine Rißbreite von 0,5 mm bei 2 mm Rißlänge ausgelegt. Bei einer größeren Breite wird die Anzeige als "Fleck" bewertet und der Prüfling zu den Gutteilen sortiert.

Es wird im folgenden von einem Bildfenster von 256 × 256 Pixeln ausgegangen. Um die geforderte Mindest-Rißlänge auswerten zu können, muß der Kamera-Abstand so gewählt werden, daß im Bereich der 256 × 256 Pixel eine Fläche von ca. (80 × 80) mm² erfaßt wird. Dies entspricht einer Auflösung von etwa 0,3 mm/Pixel. Die zu erreichende Schärfentiefe hängt von der Intensität der Anzeigenfluoreszenz und der dadurch bedingten Blendeneinstellung ab. Sie ist in der Praxis größer als ± 15 mm bei einer Blende von ca. 1 : 8 bis 1 : 16.

Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist davon ausgegangen worden, daß die Bewertung hinsichtlich der Anzeigen-Intensität über den gesamten Bewertungsbereich konstant sein soll. Daher reicht es aus, zu den beiden zu verarbeitenden Matrizen $I_{m,n}$ und $G_{m,n}$ eine Hilfsmatrix $H_{m,n}$ zu errechnen, indem dem Rechner 7 eine frei wählbare Konstante K vorgegeben wird, aufgrund welcher dieser die Matrix $H_{m,n}$ errechnet, die aus den Matrizelementen besteht, deren pixelweise multiplikative Verknüpfung mit den Elementen der Matrix $G_{m,n}$ die Konstante K ergibt, gemäß der Gleichung $G_{m,n} \cdot H_{m,n} = K$. Mit dieser Matrix $H_{m,n}$ wird die Matrix $I_{m,n}$ pixelweise multiplikativ verknüpft, wodurch die Matrix $S_{m,n}$ entsteht, gemäß der Gleichung $I_{m,n} \cdot H_{m,n} = S_{m,n}$, deren Elemente auf die gleiche Grundintensität korrigiert sind.

Von dieser Matrix $S_{m,n}$ wird pixelweise die Konstante $K = G_{m,n} \cdot H_{m,n}$ abgezogen, wodurch die Matrix $B_{m,n}$ entsteht, gemäß der Gleichung $B_{m,n} = (I_{m,n} - G_{m,n}) \cdot H_{m,n}$. Diese wird nun durch Setzen einer frei wählbaren Schwelle S_w binärisiert. Die Binärbilder werden zeilen- bzw. spaltenweise abgetastet, und die dabei erfaßten Werte werden mittels eines Befundrechners 11 entsprechend dem Auswertealgorithmus rechnerisch verarbeitet zu Befunden. Diese Befunde werden mittels der Sortierausgänge 12 angezeigt.

Ein Monitor 13 dient der Sichtbarmachung der Bildinformation und der ermittelten Daten.

Ein Drucker 14 kann die Ergebnisse des Rechners 7 ausdrucken.

Innerhalb der digitalisierten Bildmatrix können zusätzlich zu den beschriebenen Maßnahmen Maskentechniken durchgeführt werden. Hierbei werden bestimmte Bildbereiche, z. B. Werkstückkanten und Außenbereiche, vor jeder weiteren Verarbeitung völlig ausgeblendet. In den Fig. 6a bis 6c ist das Prinzip der Maskentechnik veranschaulicht. Fig. 6a zeigt das UV-Kamerabild der fluoreszierenden Oberfläche eines rißbehafteten Werkstücks. Neben dem eigentlichen Riß sind sowohl die äußere Werkstückkontur W als auch die Geometrieanzeigen G von zwei weiteren Werkstückkanten sichtbar. Zunächst werden die in Fig. 6b schwarz dargestellten Bildbereiche M ausgeblendet, so daß zur weiteren Auswertung lediglich ein Bild gemäß Fig. 6c mit dem Riß übrig bleibt. Dieser Bereich wird dann auf Vorliegen rißartiger Strukturen untersucht. Maskentechniken der beschriebenen Art dienen insbesondere dazu, Ungenauigkeiten bei der Plazierung der Werkstücke vor der feststehenden Kamera zu kompensieren. Der auszublendende Bereich wird zu diesem Zweck so gewählt, daß alle Toleranzen bei der Positionierung des Werkstücks mitabgedeckt sind.

Bei Durchführung des erfundungsgemäßen Verfahrens kann so vorgegangen werden, daß zunächst mehrere Bereiche eines Werkstücks bildmäßig erfaßt werden und daß diese Bereiche bei den Maßnahmen zur Erhöhung des Anzeigenkontrastes und gegebenenfalls bei der Binärisierung und der Durchführung von Maskentechniken getrennt ausgewertet werden.

Bei dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel ist die frei wählbare Konstante K für alle Pixel der Matrix $G_{m,n}$, und damit auch der Matrix $I_{m,n}$, auf dem gleichen Wert gehalten worden. Eine Differenzierung des Verfahrens kann jedoch in der Weise erfolgen, daß zwecks der Möglichkeit der bereichsweise unterschiedlichen Bewertung von Prüflings-Oberflächenbereichen hinsichtlich der Intensität von Rißanzeigen unterschiedliche Hilfsmatrizen für die unterschiedlich zu be-

wertenden Oberflächenbereiche errechnet werden, indem der Wert der Konstanten $K_{m,n}$ für die Errechnung der unterschiedlichen Hilfsmatrizen $H_{m,n}$ für die unterschiedlich zu bewertenden Bereiche auf Pixelebene entsprechend unterschiedlich vorgegeben wird. In diesem Fall stehen die Werte $K_{m,n}$ der einzelnen Bereiche mit den ihnen zugeordneten Matrixbereichen $G_{m,n}$ in dem Zusammenhang $G_{m,n} \cdot H_{m,n} = K_{m,n}$. Die unterschiedlichen Hilfsmatrizen $H_{m,n}$ werden mit den ihnen zugeordneten Bereichen der Matrix $I_{m,n}$ pixelweise multiplikativ verknüpft unter Bildung von entsprechend unterschiedlichen Bereichen der Matrix $S_{m,n}$, von denen die ihnen zugeordneten Konstanten-Werte $K_{m,n}$ pixelweise subtrahiert werden unter Bildung von auszuwertenden Grauwert-Matrixbereichen $B_{m,n}$ mit entsprechend dem Wert der ihnen zugeordneten Konstanten $K_{m,n}$ unterschiedlich vorgegebener Bewertung der Anzeige-Intensität.

Da die beschriebenen Rechenoperationen sich auf die einzelnen Bildpixel beziehen, findet die beschriebene Kontrasterhöhung auf Pixelebene statt. Sie ist damit anderen Verfahren, wie Tiefpaß- und Hochpaßfilterung, die immer Tendenzen und Informationen aus benachbarten Pixelbereichen mitberücksichtigen, weit überlegen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur optischen Oberflächenprüfung von Werkstücken auf Oberflächenstrukturen, insbesonder auf Risse nach dem Magnetpulver- oder Farbeindringverfahren, bei dem mittels einer Bildaufnahmekamera ein Bild der zu prüfenden Oberfläche, gegebenenfalls nach Vorbehandlung mittels einer Magnetpulversuspension oder eines Farbstoffes, aufgenommen, digitalisiert und als Grauwertmatrix in einem Rechner gespeichert wird und mit einer in gleicher Weise erhaltenen, ebenfalls gespeicherten Grauwertmatrix des Bildes einer bezüglich der geometrischen Sollwerte identischen, jedoch fehlerfreien Oberfläche rechnerisch verknüpft wird, dadurch gekennzeichnet, daß

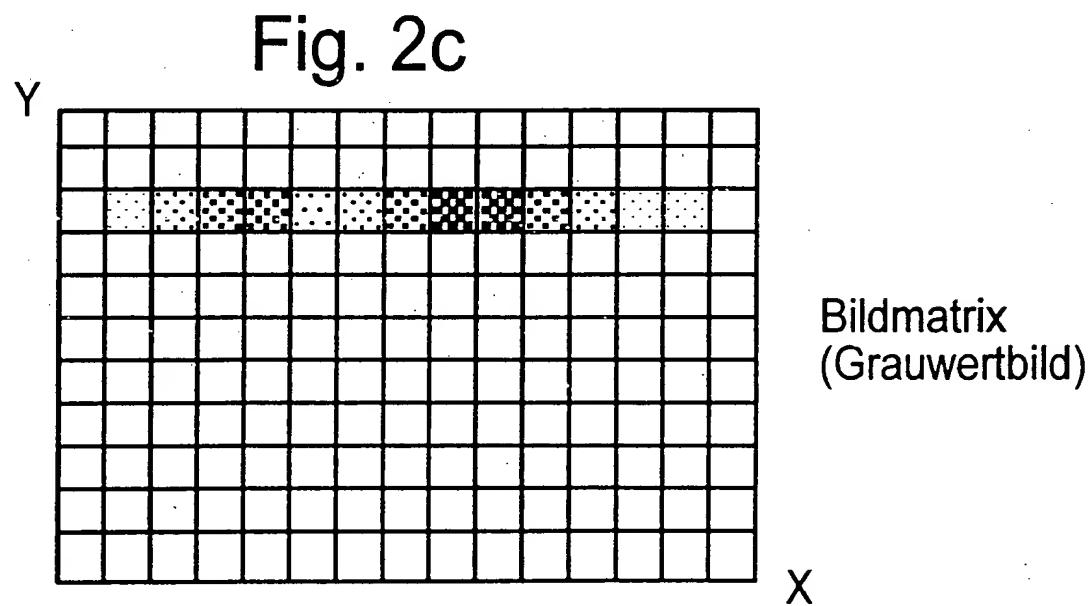
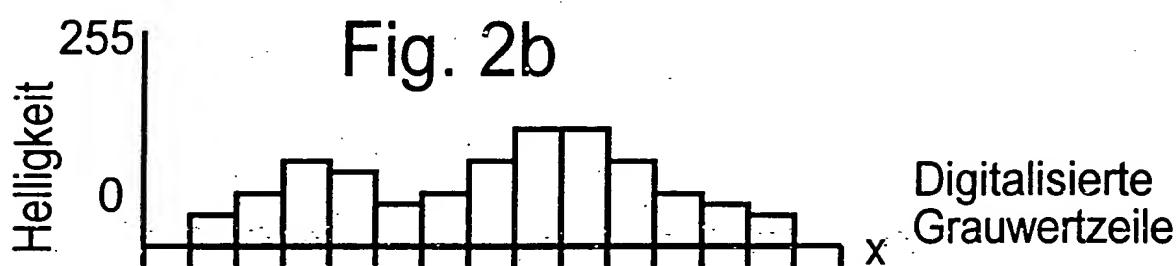
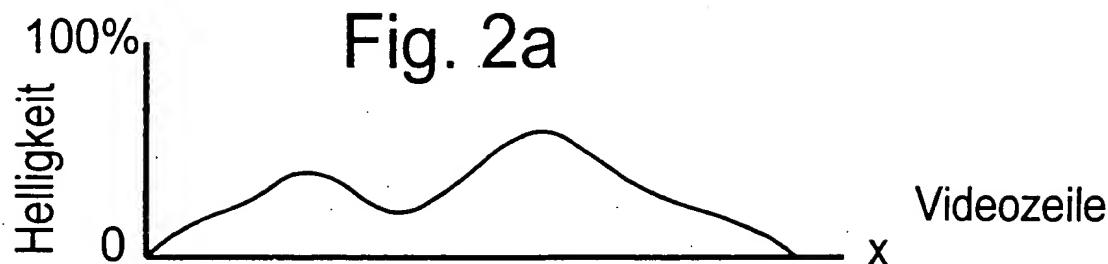
a) aus der Helligkeits-Intensitätsfunktion ($G(x)$) der Grauwertbildzeilen der fehlerfreien Oberfläche (G) eine dazu inverse Hilfsfunktion ($H(x)$) hergeleitet wird, die mit der Ausgangsfunktion ($G(x)$) gemäß dem Zusammenhang $(G(x)) \cdot (H(x)) = K$ unter Vorgabe der frei wählbaren Konstanten K multiplikativ verknüpft ist, indem mittels des Rechners aus der Grauwertmatrix ($G_{m,n}$) der fehlerfreien Oberfläche (G) eine dazu inverse Hilfsmatrix ($H_{m,n}$) gebildet wird, die mit der Ausgangsmatrix ($G_{m,n}$) gemäß dem Zusammenhang $G_{m,n} \cdot H_{m,n} = K$ pixelweise multiplikativ verknüpft ist unter Vorgabe der frei wählbaren Konstanten (K), wobei m, n die Indices der Matrixelemente sind,

b) aus der Helligkeits-Intensitätsfunktion ($I(x)$) der Grauwertbildzeilen der zu prüfenden Oberfläche (I) durch Multiplikation mit der inversen Hilfsfunktion ($H(x)$) eine Funktion ($S(x)$) hergeleitet wird, indem mittels des Rechners die Grauwert-Matrix ($I_{m,n}$), der zu bewertenden Oberfläche mit der Hilfsmatrix ($H_{m,n}$) pixelweise multipliziert wird unter Bildung einer von den ursprünglichen lokalen Hintergrund-Helligkeitsunterschieden be-

- reinigten Matrix ($S_{m,n} = I_{m,n} H \cdot m,n$) wonach c) der vorgegebenen Intensitäts-Konstanzwert ($K = G <x> H \cdot H <x>$) von der Intensitätsfunktion ($S <x>$) abgezogen wird unter Bildung einer von der ursprünglichen lokalen Hintergrund-Helligkeit unabhängigen Funktion ($B <x>$), indem mittels des Rechners von der Matrix ($S_{m,n}$) der Intensitäts-Konstanzwert (K) pixelweise subtrahiert wird unter Bildung der kontrastverbesserten, die zu ermittelnden Oberflächenstrukturen unabhängig von der ursprünglichen lokalen Helligkeits-Grundintensität wiedergebenden Grauwertmatrix ($B_{m,n} = (I_{m,n} - G_{m,n}) \cdot H_{m,n}$), die durch Anwendung von der Prüfaufgabe entsprechenden Mustererkennungs-Algorithmen ausgewertet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwecks Möglichkeit der bereichsweise unterschiedlichen Bewertung von Prüflings-Oberflächen hinsichtlich der Intensität von Rißanzeichen unterschiedliche Hilfsmatrizen ($H_{m,n}$) für die unterschiedlich zu bewertenden Prüflings-Oberflächenbereiche errechnet werden, indem der Wert ($K_{m,n}$) der Konstanten (K) für die Errechnung der unterschiedlichen Hilfsmatrizen $H_{m,n}$ auf Pixelebene entsprechend unterschiedlich vorgegeben wird, und daß die Grauwertmatrix ($I_{m,n}$) der zu bewertenden Oberfläche bereichsweise mit den entsprechenden Bereichen der Ausgangsmatrix ($G_{m,n}$) zugeordneten Hilfsmatrizen ($H_{m,n}$) pixelweise multipliziert wird und von den so gebildeten unterschiedlichen Matrix-Bereichen ($S_{m,n}$) die ihnen zugeordneten Konstanten-Werte ($K_{m,n}$) pixelweise subtrahiert werden unter Bildung von auszuwertenden Grauwertmatrix-Bereichen ($B_{m,n}$) mit unterschiedlich vorgegebener Anzeige-Intensität.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Grauwertmatrix ($B_{m,n}$) bzw. deren unterschiedliche Bereiche mit einer (auf Pixelebene) frei wählbaren, festen Schwelle (Sw) binärisiert wird bzw. werden, indem alle oberhalb der Schwelle (Sw) befindlichen Werte mit 1, alle unterhalb der Schwelle (Sw) befindlichen Werte mit 0 bewertet werden.
4. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß mittels auf Pixelebene gebildeter Masken bestimmte, vorgegebare Bildbereiche ausgeblendet und der weiteren Verarbeitung entzogen werden.
5. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Bereiche eines Werkstückes erfaßt und getrennt mittels der Verfahrensschritte nach den Ansprüchen 1 bis 4 ausgewertet werden.
6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 bis 5 mit mindestens einer Bildaufnahmekamera (CCD-Zeilenkamera) für die Herstellung von Bildern der zu prüfenden Werkstücks-oberfläche und einer mit dieser geometrisch identischen, fehlerfreien Oberfläche und mit einem mit dem Bildaufnahmesystem über einen Analog-Digital-Wandler verbundenen, rechnergesteuerten Bildverarbeitungssystem zum Abtasten und Auswerten von Bildsignalen, das einen Bildrechner aufweist, in dessen Bildspeicher die gewandelten Bilddaten als Matrix abgelegt werden, aus dem sie in einen Arbeitsspeicher des Bildrechners zur weite-

- ren Verarbeitung transferierbar sind, gekennzeichnet durch folgende Bildrechnereinheiten:
- a) eine Schaltung für die Errechnung und Speicherung einer zur Grauwertmatrix ($G_{m,n}$) der fehlerfreien Oberfläche (G) oder zu pixelweise frei vorstellbaren Bereichen derselben inversen Hilfsmatrix ($H_{m,n}$) im Wege der pixelweisen multiplikativen Verknüpfung durch den Zusammenhang $G_{m,n} \cdot H_{m,n} = K_{m,n}$ unter Vorgabe der (pixelweise) frei wählbaren Konstanten ($K_{m,n}$).
- b) eine Schaltung für die Transferierung und pixelweise Multiplikation (von unterschiedlich vorgegebenen Bereichen) der Grauwertmatrix ($I_{m,n}$) der zu bewertenden Oberfläche (I) mit der (zugeordneten) Hilfsmatrix ($H_{m,n}$) unter Bildung einer von den ursprünglichen lokalen Untergrund-Helligkeitsunterschieden (bereichsweise) bereinigten Matrix ($S_{m,n} = I_{m,n} \cdot H_{m,n}$).
- c) eine Schaltung für die pixelweise Subtraktion der Werte von $K_{m,n}$ von (den diesen zugeordneten Bereichen) der Matrix ($S_{m,n}$) unter Bildung einer (in vorgegebenen Bereichen in vorgegebenem Maß unterschiedlich) kontrastverbesserten, (in ihren unterschiedlichen Bereichen) die Oberflächenstrukturen unabhängig von der ursprünglichen lokalen Grundhelligkeit wiedergebenden Matrix ($B_{m,n} = (I_{m,n} - G_{m,n}) \cdot H_{m,n}$), sowie durch einen Befundrechner (11) für die Auswertung der kontrastverbesserten Matrix ($B_{m,n}$) unter Anwendung von der Prüfaufgabe entsprechenden Mustererkennungsalgorithmen.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch eine Schaltung für die Binärisierung der kontrastverbesserten Matrix ($B_{m,n}$) oder deren unterschiedlicher Bereiche mittels einer (auf Pixelebene) frei wählbar zu setzenden Schwelle ($Sw_{m,n}$), welche alle oberhalb der Schwelle ($Sw_{m,n}$) liegenden Werte mit 1 und alle unterhalb der Schwelle ($Sw_{m,n}$) liegenden Werte mit 0 bewertet.
8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, gekennzeichnet durch eine dem Befundrechner (11) nachgeschaltete Vorrichtung für die Auslösung von Sortierausgängen (12) zugeführten Sortierbefunden.
9. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 6–8, gekennzeichnet durch einen dem Befundrechner (12) nachgeschalteten Monitor (13) für die Sichtbarmachung von Videoinformationen und Daten.
10. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 6–9, gekennzeichnet durch einen an den Bildrechner (7) angeschalteten bzw. anschaltbaren Drucker (14).

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen



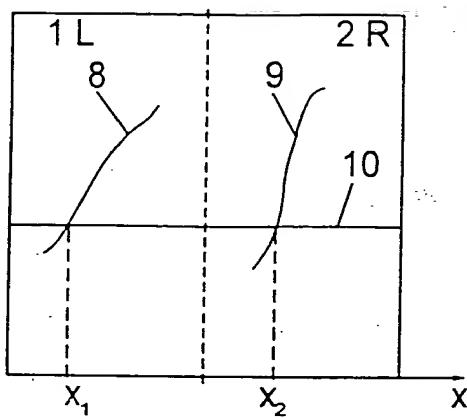


Fig. 3a

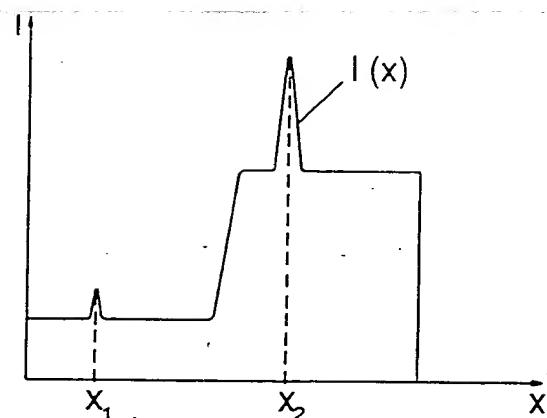


Fig. 3b

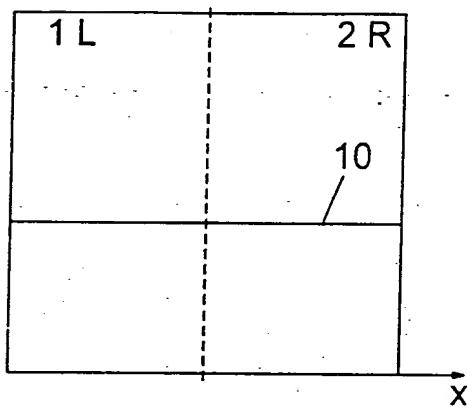


Fig. 3c

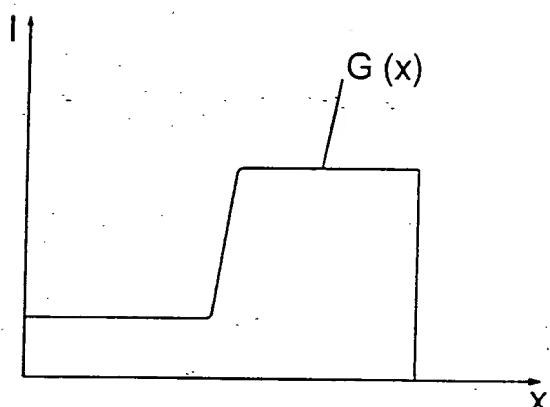


Fig. 3d

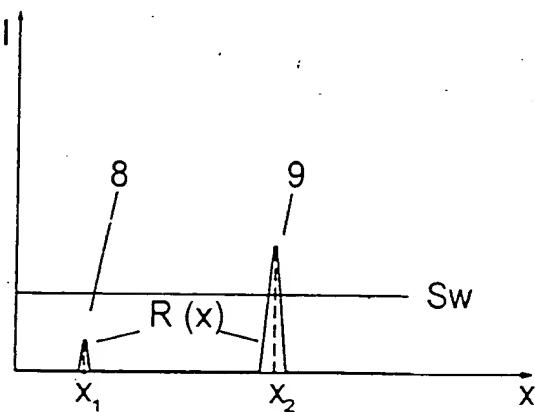
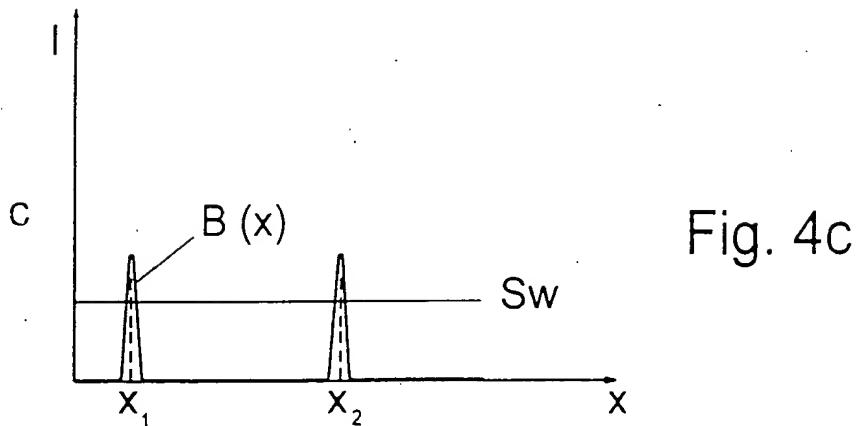
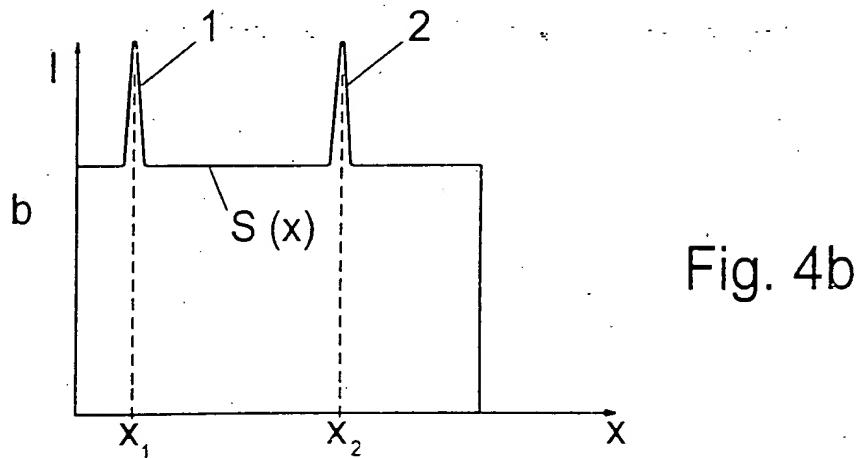
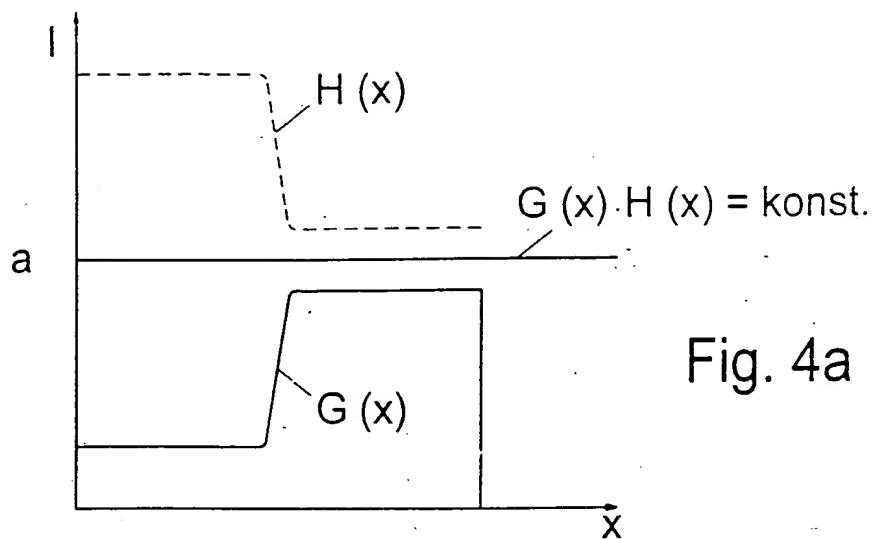


Fig. 3e



I _{1,1}					
			i _{m,n}		

$$G_{m,n} \cdot H_{m,n} = \text{konst.}$$

$$B_{m,n} = (I_{m,n} - G_{m,n}) \cdot H_{m,n}$$

Fig. 5a

G _{1,1}					
			G _{m,n}		

Fig. 5b

Fig. 6a

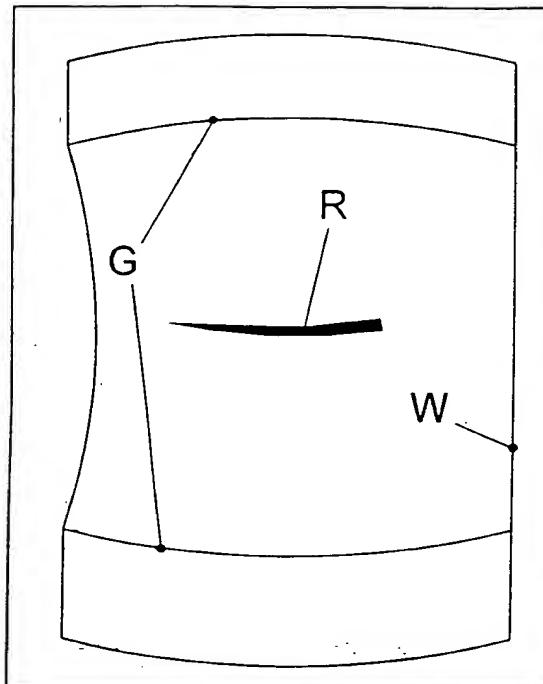


Fig. 6b

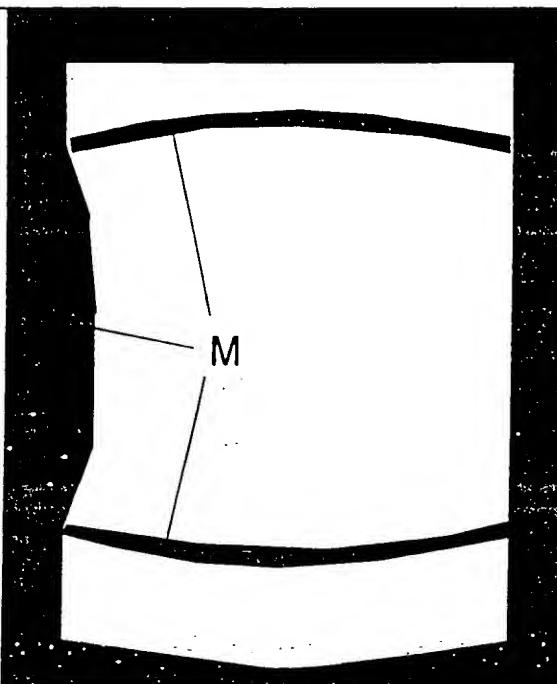


Fig. 6c

